

UTILIZAÇÃO DO TANQUE "CLASSE A" E DO EVAPORÍMETRO "PICHE" NA OTIMIZAÇÃO DOS MÉTODOS DE PENMAN E THORNTHWAITE.

DALVA MARTINELLI CURY & NILSON AUGUSTO VILLA NOVA

Faculdade de Ciências Agronômicas; Caixa Postal 237; CEP 18600, Botucatu, SP ;  
Brasil.

**RESUMO** - No presente trabalho foram estimados os valores de evapotranspiração de referência através dos métodos de uso mais consagrado, propondo-se adaptações locais ao método de THORNTHWAITE através da adição de valores do poder evaporante do ar à sombra. Assim também, introduziu-se uma modificação ao método de PENMAN através da substituição do termo aerodinâmico pela função que expressa a evaporação do Tanque Classe A coberto em termos do evaporímetro Piche. Estas modificações introduzidas melhoram a precisão de estimativa, sem prejuízo da viabilidade de aplicação.

UTILIZATION OF THE CLASS A PAN COVERED AND EVAPORIMETER PICHE IN THE PENMAN AND THORNTHWAITE METHODS OPTIMIZATION.

**ABSTRACT** - The reference evapotranspiration was determined by several conventional methods of evapotranspiration, and local adaptations of the THORNTHWAITE method were proposed by addition of the evaporation power air in the shadow. Therefore the air dynamic term of the PENMAN methods was changed by function that express the evaporation of the covered class A Pan in Piche evaporimeter term. This modification make better its accuracy damage of the application viability.

### **INTRODUÇÃO**

Muito se tem pesquisado a fim de se obter métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), que necessitem de dados meteorológicos fáceis de serem obtidos. Definida por THORNTHWAITE como a perda de água de uma superfície de solo úmido, completamente coberta por vegetação, em fase de desenvolvimento ativo, com extensão suficiente para minimizar o efeito de oásis. A não disponibilidade de determinados dados, tem levado os usuários a escolherem métodos simples, como de THORNTHWAITE, que necessita apenas dados de temperatura do ar, latitude e altitude. Existem outros que se estruturam em base física utilizando dados de umidade relativa, velocidade do vento, temperatura do ar, insolação, deficit de saturação do ar e energia, como os métodos da Radiação Solar, do Tanque Classe A e o de PENMAN; que apresentam resultados bem mais satisfatórios devido a alta correlação entre evapotranspiração e saldo

de radiação. Contudo, alguns destes processos são complexos demais para serem utilizados na prática ou de fácil aplicação, embora não cheguem a produzir resultados aceitáveis, existindo sempre a busca de métodos que reúnem precisão e facilidade operacional. No presente trabalho, teve-se como objetivo testar a validade de vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência propostos como viáveis por DOORENBOS & KASSAM, procurando otimizar a sua eficiência, através de modificações introduzidas com o auxílio de valores de evaporação do Tanque "Classe A" coberto e do evaporímetro "Piche".

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho desenvolveu-se no período de 2 de outubro a 21 de janeiro de 1985 e de 28 de março a 07 de julho de 1985 na área de pesquisa do Departamento de Ciências Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude  $22^{\circ}51'S$ , longitude  $48^{\circ}26'W$  e altitude de 786 metros. O clima do município classifica-se segundo o Sistema "Köppen" como Cfb transição para Cwb ou clima tropical de altitude com inverno moderadamente seco. A precipitação e a temperatura média anual são respectivamente 1290 mm e  $19,4^{\circ}C$ . Para a estimativa da evapotranspiração potencial e para outras informações complementares, foram utilizados os seguintes equipamentos instalados no posto meteorológico, localizado ao lado do campo experimental: pluviômetro, anemômetro, heliôgrafo, termohigrôgrafo, termômetro de máxima e mínima, evaporímetro de Piche e Tanque Classe A com e sem cobertura. O tanque Classe A "coberto" foi instalado sob uma cobertura de cimento amianto de 0,8m de altura, 3,0m de comprimento, 2,0m de largura, 0,1m de espessura impedindo a exposição direta dos raios solares. Para estimativa da evapotranspiração de referência utilizaram-se os seguintes métodos:

- Método do Tanque Classe A (EToA): Este método consiste em estimar a evapotranspiração de referência multiplicando-se a altura de evaporação lida no período (ECA) por um coeficiente denominado de coeficiente de tanque ( $K_p$ ), que depende da velocidade do vento, umidade relativa e tamanho da bordadura (DOORENBOS & KASSAM):  $EToA = K_p \cdot ECA$ , onde: EToA = evapotranspiração de referência estimada (mm/dia);  $K_p$  = coeficiente de conversão do tanque Classe A, sendo utilizados os valores recomendados pela Food and Agriculture Organization (FAO) em função da velocidade do vento e da exposição do tanque e da umidade relativa (DOORENBOS & PRUITT); ECA = altura de evaporação lida no tanque Classe A (mm/dia).

- Método da Radiação Solar (EToR): A evapotranspiração de referência por este método é estimada pelas equações:  $EToR = c (W.R_s)$ , onde:  $R_s$  = radiação solar global estimada (mm/dia):  $R_s = Q_0 (a + b \frac{n}{N})$  onde:  $Q_0$  = radiação solar extra terrestre ( $cal/cm^2 \cdot dia$ ); a e b são coeficientes de regressão determinados para o município de Botucatu (TUBELIS & NASCIMENTO); n = insolação medida (horas) N = insolação máxima (horas); W = coeficiente relativo ao efeito a temperatura do

ar e altitude (DOORENBOS & KASSAM);  $c$  = coeficiente angular de ajuste de  $EToR$  em função da umidade relativa e da velocidade do vento (DOORENBOS & KASSAM);  $EToR$  = evapotranspiração estimada (mm/dia).

- Método de THORNTHWAITE ( $EToH$ ): Para estimar a evapotranspiração de referência pelo método de THORNTHWAITE utilizou-se a simplificação de cálculos elaborada por CAMARGO. O valor tabular ( $EToH$ ) em função das temperaturas mensais e anuais foi multiplicado por um fator de ajuste ( $N/12$ ) dependente do valor médio do fotoperíodo ou seja  $EToH = EToH \cdot (N/12)$ .

- Método de THORNTHWAITE modificado ( $EToH^*$ ): O método de THORNTHWAITE, pela sua simplicidade e viabilidade de aplicação (função apenas da temperatura do ar), é um dos métodos largamente utilizados na prática. De um modo geral, porém, sabe-se que o mesmo por ser apenas uma função indireta do balanço de energia, representado pela temperatura do ar, não prevê os efeitos da velocidade do vento e do déficit de saturação do ar, função denominada de "poder evaporante do ar a sombra". No presente método, através do estudo da correlação entre evaporação medida em um tanque classe A colocado a sombra ( $ECA_c$ ), e valores simultâneos de evaporação Piche no abrigo ( $Pi$ ), determinou-se uma função da forma:  $ECA_c = aPi + b$ . O método prevê assim, para o método de THORNTHWAITE modificado ( $EToH^*$ ), um ajuste para o efeito da velocidade do vento e déficit de saturação do ar, representado pela adição ao método clássico, de valores do poder evaporante do ar a sombra, ou seja  $EToH^* = EToH + Kp ECA_c$ , ou ainda:  $EToH^* = EToH + Kp (aPi + b)$  onde  $Kp$  é o coeficiente de conversão evaporação/evapotranspiração já determinado para o tanque classe A.

- Método de PENMAN ( $EToP$ ): O método de PENMAN, compreende as seguintes equações  $EToP = WRn + (1-W) Ea$ , onde  $Rn = Qs - QL$ , sendo  $Rn$  = radiação líquida ou saldo de radiação, média do período (mm/dia);  $Qs$  = balanço da onda curta no período (mm/dia) definida por:  $Qs = Qo(a + b \frac{n}{N}) (1 - r)$ , sendo,  $Qo$ =energia extra-terrestre no período (mm/dia);  $a$  e  $b$ =coeficientes de regressão determinados por TUBELIS & NASCIMENTO para o município de Botucatu;  $r$ =poder refletor da cultura (tomado como 0,2);  $QL$ =balanço de onda longa no período (mm/dia) definido por:  $QL = \sigma Ta^4 (0,56 - 0,09\sqrt{e}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N})$  sendo:  $\sigma$ =constante de Stefan Boltzman ( $19,94 \times 10^{-10}$  mm/k<sup>4</sup> . dia);  $Ta$ =temperatura média do ar (K);  $e$ =pressão atual de vapor d'água (mm Hg);  $n$ =insolação medida (horas)  $N$ =insolação máxima (horas);  $W$ =coeficiente relativo ao efeito da temperatura e altitude (DOORENBOS & KASSAM);  $Ea$ =poder evaporante do ar a sombra (mm/dia), estimado pela equação:  $Ea = 0,35 (1 + \frac{U}{160}) \Delta e$ , onde:  $U$ =velocidade do vento a 2 metros de altura (km/dia),  $\Delta e$ =deficit de saturação do ar (mm Hg).

- Método de PENMAN modificado ( $EToP^*$ ). No presente trabalho a modificação introduzida consistiu-se em substituir o termo aerodinâmico  $(1-W)Ea$  pela função que expressa a evaporação do tanque classe A coberto ( $ECA_c$ ) em termos do evaporímetro de Piche. Obteve-se uma equação do tipo:  $EToP^* = WRn + Kp (aPi + b)$

- Método de LINACRE ( $EToL$ ). A evapotranspiração de referência, no método de LINACRE é expressa pela função.

$$ET_{oL} = \frac{\frac{500 T_n}{(100-A)} + 15 (T-T_d)}{80-T}$$

T = Temperatura média do período ( $^{\circ}\text{C}$ ); Td = Temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ); A = Latitude em graus e décimo; Tn = T + 0,006 h; h = Altitude em metro;

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 são demonstrados os valores médios por décadas de evaporação medida e os dados meteorológicos em geral, observados nas épocas de primavera-verão e de outono-inverno. É fato reconhecido que as prováveis fontes de erro ocorrentes nos métodos de estimativa da evapotranspiração habitualmente utilizados, são devidos ao uso de funções inadequadas para as nossas condições climáticas ou pela ausência de uma função que avalie a influência da velocidade do vento e do déficit de saturação do ar, tecnicamente denominado de poder evaporante do ar a sombra. Procurando determinar este parâmetro, poderou-se que o mesmo seria bem representado pela evaporação do tanque classe A coberto (EAc). A exemplo do que fizeram STANHILL e TUBELIS, procurou-se a correlação entre EAc X Piche. No quadro 2 são relatados os valores simultâneos destes dois elementos e da regressão entre os mesmos. Pelos resultados assumiu-se que com boa aproximação pode-se estimar o valor da função poder evaporante do ar a sombra pela expressão:

$$EAc_c = 0,622 Pi - 0,449$$

Modificações introduzidas nos métodos de PENMAN e THORNTHWAITE: De acordo com a evapotranspiração de referência obtida pelos diferentes métodos propostos, resumidos nos Quadros 3, observou-se que existe uma certa variabilidade nos valores estimados. Assumindo-se que o método do tanque Classe A obtém os dados mais próximos da realidade pois a evaporação obtida é resultante da ação de diversos elementos climáticos, conduziu-se um estudo de regressão entre este método tomado como padrão e os outros. Pelos dados dos quadros 4 pode-se atribuir em função dos coeficientes de correlação obtidos, uma melhor precisão de estimativas para os métodos modificado de PENMAN (ETop\*) e THORNTHWAITE (EToh\*) quando se consideram os dados conjuntos das épocas de verão e inverno.

Quadro 1. Valores médios decendiais de evapotranspiração e evaporação de tanque e dados climáticos.  
(época de primavera-verão)

Década	ECA <sub>c</sub>	ECA	T	UR	P	Pi	n	U
(1)	2,66	5,42	21,1	70	9,0	4,67	7,64	122,3
(2)	4,05	7,36	23,3	60	0,0	7,06	10,03	134,4
(3)	3,91	7,07	24,2	69	5,0	5,96	7,75	119,7
(4)	2,27	5,41	19,8	74	25,0	4,08	8,04	123,6
(5)	2,54	6,43	22,3	73	23,0	4,36	8,72	108,1
(6)	2,02	4,90	21,9	80	10,6	3,32	5,97	87,4
(7)	1,78	4,40	21,1	78	91,7	3,39	5,02	91,7
(8)	2,02	4,56	21,9	75	26,8	3,46	4,68	73,1
(9)	2,02	4,44	21,2	79	55,4	3,32	7,42	96,7
(10)	2,26	5,60	22,2	73	3,9	4,03	8,94	78,2

Décadas: (1) 13/10-22/10; (2) 23/10-01/11; (3) 02/11-11/11; (4) 12/11-21/11;  
(5) 22/11-01/12; (6) 02/12-11/12; (7) 12/12-21/12; (8) 22/12-31/12;  
(9) 01/01-10/01; (10) 11/01-18/01.

(época de outono-inverno)

Década	ECA <sub>c</sub>	ECA	T	UR	P	Pi	n	U
(1)	1,50	4,94	23,1	79	71,6	3,03	7,71	70,3
(2)	1,35	3,79	21,8	82	50,9	2,52	7,57	104,1
(3)	1,59	3,12	18,9	76	12,1	3,18	6,09	98,7
(4)	1,70	3,31	17,7	71	17,5	3,50	8,13	87,1
(5)	2,06	3,43	17,6	68	4,4	4,23	8,72	80,1
(6)	1,46	3,00	18,3	75	60,4	3,08	8,17	68,9
(7)	1,61	2,74	15,2	74	15,8	3,24	7,51	95,5
(8)	2,07	2,85	13,7	65	1,4	4,19	8,50	78,2
(9)	1,86	2,86	17,5	72	0,0	3,77	8,23	97,7
(10)	1,98	2,96	17,1	69	11,0	3,75	7,47	70,9

Décadas: (1) 30/03-08/04; (2) 09/04-18/04; (3) 19/04-28/04; (4) 29/04-08/05;  
(5) 09/05-18/05; (6) 19/05-28/05-07/06; (8) 08/06-17/06; (9) 18/06-  
27/06; (10) 26/06-07/07.

#### Significado dos Símbolos:

ECA (evaporação do tanque classe A mm/dia); ECA<sub>c</sub> (evaporação do tanque classe A coberto mm/dia); T (temperatura média do ar, °C); UR (umidade relativa média, %); P (chuva, mm); Pi (evaporação Piche, cm<sup>3</sup>); n (horas de insolação); e U (velocidade do vento, Km/dia).

Quadro 2. Regressão entre os valores médios do tanque classe A coberto ( $ECA_c$ ) e a evaporação Piche correspondente ( $P_i$ ).

Época de primavera-verão		Época de outono-inverno		REGRESSÃO LINEAR ( $y=ax+b$ )					
Década	$ECA_c$ (mm/dia)	$P_i$ ( $cm^3$ /dia)	Década	$ECA_c$ (mm/dia)	$P_i$ ( $cm^3$ /dia)	Época	a	b	r
(1)	2,66	4,67	(1)	1,50	3,03	Verão	0,6235	-0,1674	0,9784***
(2)	4,05	7,06	(2)	1,35	2,52				
(3)	3,91	5,96	(3)	1,59	3,18				
(4)	2,27	4,06	(4)	1,70	3,50				
(5)	2,54	4,36	(5)	2,06	4,23				
(6)	2,02	3,32	(6)	1,46	3,08	Inverno	0,4674	0,1058	0,9755***
(7)	1,78	3,39	(7)	1,61	3,24				
(8)	2,02	3,46	(8)	2,07	4,19	Verão	0,6617	-0,4493	0,9658***
(9)	2,02	3,32	(9)	1,86	3,77				
(10)	2,25	4,03	(10)	1,98	3,75				

Quadro 3. Valores de evapotranspiração de referência estimados pelos diferentes métodos (período de primavera-verão e outono-inverno).

DÉCADA	EToA	EToL	EToR	EToP	EToH	EToH*	EToP
(1)	4,61	4,29	4,60	3,89	2,94	5,27	5,15
(2)	6,30	5,37	5,70	4,76	3,85	7,45	6,87
(3)	6,00	5,00	5,50	4,90	4,03	7,05	6,65
(4)	4,60	3,83	4,40	4,14	2,75	4,76	5,27
(5)	5,47	4,40	5,00	4,98	3,55	5,72	6,14
(6)	4,17	3,89	4,00	3,84	3,44	5,05	4,77
(7)	3,74	3,96	3,80	4,13	3,16	4,81	5,05
(8)	3,88	4,15	3,80	3,78	3,50	5,16	4,68
(9)	3,77	3,82	4,60	4,02	3,16	4,78	4,60
(10)	4,76	4,34	5,00	4,34	3,55	5,54	5,48
(1)	4,20	4,19	3,20	2,83	3,33	4,44	3,62
(2)	3,22	3,78	3,10	2,70	3,04	3,95	3,25
(3)	2,65	3,56	2,80	2,40	2,21	3,38	3,23
(4)	2,81	3,61	2,60	2,36	1,88	3,18	3,22
(5)	2,90	3,76	3,00	1,85	1,77	3,35	3,14
(6)	2,55	3,50	2,60	1,69	2,02	3,35	2,64
(7)	2,33	3,05	2,20	1,42	1,27	2,47	2,34
(8)	2,42	3,48	2,70	1,15	1,08	2,65	2,61
(9)	2,43	3,53	2,40	1,63	1,71	3,11	2,73
(10)	2,52	3,60	2,90	1,70	1,73	3,13	2,88

EToA = Método do Tanque Classe A,

EToL = Método de Linacre;

EToP e EToP\* = Método de PENMAN E PENMAN modificado

EToR = Método da Radiação Solar;

EToH e EToH\* = Método de THORNTHWAITE E THORNTHWAITE Modificado;

Quadro 4. Regressões EToA x diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (período de primavera-verão e outono-inverno).

REGRESSÃO	a	b	r
EToA x EToL	2,1228	-4,6199	0,9328***
EToA x EToR	1,0733	-1,1994	0,9510***
EToA x EToP	0,8860	0,9972	0,9200***
EToA x EToT	1,1967	0,5377	0,8772***
EToA x EToT	0,8643	-0,0625	0,9707***
EToA x EToP*	0,8369	0,2375	0,9657***

a e b = coeficiente angular e linear

r = coeficiente de correlação

## CONCLUSÕES

Podemos concluir que:

As modificações introduzidas nos métodos de PENMAN e THORNTHWAITE para as condições locais, melhoram a sua precisão de estimativas, sem prejuízo da viabilidade de aplicação.

O método de THORNTHWAITE foi o que apresentou o menor grau de precisão por ser baseado apenas na temperatura do ar.

Os métodos que levam em conta o efeito da radiação solar sobre a evapotranspiração como os de PENMAN e da Radiação Solar foram os que forneceram estimativas mais precisas em seguida aos modificados e de LINACRE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLANEY, H.F. & CRIDDLE, W.D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data, USDA, TP-SG, 1950, (JPSG).
2. CAMARGO, AP. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronomico, 1966. 54 p. (BC, 161).
3. DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water. FAO 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
4. DOORENBOS, J & W.O. PRUITT. Crop water requirements. FAO 1975 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
5. LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation in various climates, using temperature alone. Agric Meteorol, Amsterdam, 18:409-24. 1977.
6. PENMAN, H. L. Natural evapotranspiration from open water bare soil and grass. Royal Soc. London Proc., Série A, 193:120-146, 1948.
7. STANHILL, G., A comparison of methods calculating potencial evapotranspiration from climate data. J. Agric. Res. Israel, 11 (3/4):159-171, 1961.
8. THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a ration classification of climate. Geograph Rev, 38:55-94, 1948.



9. TUBELIS, A; NASCIMENTO, F.J.L. Estimativas da radiação solar global diária em Botucatu, SP, a partir da insolação diária. Botucatu Cient., Serie A: 26:53-60, 1976.
  
10. TUBELIS, A; NASCIMENTO. Estimativa do poder evaporante do ar pelo evaporímetro de Piche em Botucatu, S.P. Científica., 9(1):13-19, 1981.